

УДК 053.371.3:539.1

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2025-1-15>

РОЛЬ МИСЛЕННЄВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ У ВИВЧЕННІ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ЗДОБУВАЧАМИ ПРОФІЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Сірик Едуард Петрович,

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0002-9201-2943

Сальник Ірина Володимирівна,

доктор педагогічних наук, професор,

завідувач кафедри природничих наук і методик їхнього навчання

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0003-1117-9862

Загально визнаною ідеєю сучасного навчання вважається його відповідність розвитку науки, а також тим методам пізнання, які в науці є вирішальними. Головна мета навчання фізики старшої школи полягає в розвитку особистості учнів засобами фізики як навчального предмета, зокрема, завдяки формуванню в них фізичного знання про явища природи, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, екологічної культури, розвитку в них експериментальних умінь і дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності креативно мислити.

У статті обґрунтовується важливість включення в зміст шкільного курсу фізики сучасних питань фізики, які є основою сучасної техніки та технологій. Метою статті визначено встановлення особливостей навчання основ квантової фізики в умовах профільної школи та окреслення напрямів формування теоретичного мислення учнів.

Зміст фізичної освіти старшої школи спрямовано на опанування учнями наукових фактів і фундаментальних ідей, усвідомлення ними суті понять і законів, принципів та теорій, які дають змогу не лише пояснити перебіг явищ і процесів, а й зрозуміти наукові основи сучасного виробництва, техніки й технологій, використати здобуті знання в практичній діяльності. Визначено, що для учнів старшої школи вагомим значення набуває розвиток формального теоретичного мислення. Показано, що для цього доцільно використати підходи, які враховують особливості змісту квантової фізики: об'єктами дослідження є мікрооб'єкти, особливе місце серед фізичних експериментів посідають фундаментальні дослідження, які важко відтворити в умовах закладу освіти. Особлива увага приділена мисленнєвому експерименту як засобу формування основних понять квантової фізики та розвитку формального мислення учнів.

Визначено, що загалом методика викладання квантової фізики є динамічною, постійно розвивається, оскільки зміст цього розділу наповнюється новим матеріалом.

Ключові слова: квантова фізика, фізична освіта, методика навчання фізики, фізичний експеримент, мислення учнів.

Siryk Eduard, Salnyk Iryna. The Role of Thought Experiment in the Study of Quantum Physics by Students of Specialized Secondary Education

The generally accepted idea of modern education is its compliance with the development of science, as well as with those methods of cognition that are decisive in science. The main goal of teaching physics in high school is to develop the personality of students by means of physics as an educational subject, in particular through the formation of physical knowledge about natural phenomena, a scientific worldview and an appropriate style of thinking, ecological culture, the development of experimental and research skills, creative abilities and a tendency to creative thinking in them.

The article justifies the importance of including in the content of the school physics course modern issues of physics, which are the basis of modern technology and engineering. The purpose of the article is to establish the

features of teaching the basics of quantum physics in the conditions of a specialized school and outline the directions for the formation of students' theoretical thinking.

The content of high school physical education is aimed at students mastering scientific facts and fundamental ideas, their awareness of the essence of concepts and laws, principles and theories that allow not only to explain the course of phenomena and processes, but also to understand the scientific foundations of modern production, technology and engineering, and to use the acquired knowledge in practical activities. It is determined that for high school students the development of formal theoretical thinking is of great importance. It is shown that for this it is advisable to use approaches that take into account the peculiarities of the content of quantum physics: the objects of research are microobjects; a special place among physical experiments is occupied by fundamental experiments that are difficult to reproduce in the conditions of an educational institution. Special attention is paid to the thought experiment as a means of forming the basic concepts of quantum physics and developing students' formal thinking.

It is determined that in general the methodology of teaching quantum physics is dynamic, constantly evolving, since the content of this section is filled with new material.

Key words: *quantum physics, physical education, physics teaching methodology, physical experiment, students' thinking.*

Вступ. У вирішенні поставлених перед освітою проблем з поліпшення її системи щодо забезпечення можливостей самовдосконалення особистості та формування інтелектуального потенціалу як найвищої цінності нації провідну роль відіграє фізика. Розкриваючи закони природи, фізика розширює знання людини і водночас є складовою частиною сучасного наукового світорозуміння та науково-технічного прогресу. Надзвичайно багатогранне використання її досягнень у різних галузях практичної діяльності людини.

Саме розвиток науки і технологій, який в останні десятиліття привів до значного покращення якості життя завдяки використанню сучасних електронних систем та пристроїв, що засновані на принципах сучасної фізики, викликав величезну зацікавленість у населення, особливо молоді, до вивчення цих питань. У цьому є важливе соціокультурне значення сучасної фізики. Вона стала невід'ємним складником культури високотехнологічного інформаційного суспільства. Однак варто констатувати, що викладання питань сучасної фізики в старшій школі не відповідає її належному розвитку.

Загалом, основна тенденція сучасної розбудови фізичної освіти спрямована на методологічну переорієнтацію освітніх систем з інформативних аспектів вивчення фізики на розвиток особистості учня та особистісне спрямування системи фізичної освіти з урахуванням здібностей і нахилів учнів.

Постає проблема перегляду підходів до викладання питань сучасної фізики в закладах загальної середньої освіти, щоб забезпечити краще розуміння світу, відповідну підготовку до життя та майбутньої професії.

Ми розуміємо, що немає простих чи єдиних рішень або готових рецептів, які гарантували б успіх у навчанні. Це питання, з яким мають зіткнутися вчителі кожної школи в кожному соціальному середовищі, прагнучи задовольнити потреби й очікування всіх учасників освітнього процесу, спираючись на чітку педагогічну концепцію.

Мета статті – визначити особливості навчання основ квантової фізики в умовах профільної школи та окреслити напрями формування теоретичного мислення учнів.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблеми вивчення основ сучасної фізики в шкільному курсі були й залишаються предметом досліджень багатьох учених як в Україні, так і за кордоном. Зокрема, проблеми вдосконалення форм та методів навчання квантових властивостей світла з використанням інформаційних технологій знайшли відображення в дослідженнях С. Величка, М. Головка, В. Заболотного, Л. Клименко, О. Ляшенка, В. Муляра, М. Мартинюка, М. Садового, І. Сальник та ін. Актуальним проблемам вивчення сучасної фізики присвячені праці закордонних авторів М. Мікеліні, Л. Санті, А. Стефанель, Дж. Р. Максиміано, Л. Кардозо, Л. Домінгуїні, Е. Ф. Нобре, А. О. Фейтоса, М. В. П. Лопес, Д. Б. Фрейтас, Р. Г. М. Олівейра та ін.

Методичні особливості запровадження сучасних засобів експериментування в системі навчального експерименту з квантової фізики розглядають С. Величко, Л. Костенко [1; 2]. Дидактичні функції сучасних педагогічних програмних засобів з фізики та їх упровадження вивчали М. Головка [3], В. Заболотний, Н. Мисліцька [5]. Поєднання віртуального й реального експерименту в навчанні хвильової та квантової оптики розглядали в роботі [6]. Різні аспекти формування формального та логічного мислення під час вивчення сучасних питань фізики розглянуто в працях М. Мікеліні, Л. Санті, А. Стефанель, [9]. Нові підходи вивчення фізики майбутніми вчителями представлені Е. Ф. Нобре, А. О. Фейтоса, М. В. П. Лопес, Д. Б. Фрейтас, Р. Г. М. Олівейра [8] та ін.

Загалом, варто відмітити значний інтерес до проблем методики вивчення питань фізики ХХ століття в закладах освіти серед закордонних науковців. Це пов'язано з різноманітністю підходів до її вивчення: включення окремого розділу в навчальні програми, як окремого інтегрованого курсу, як певного вибіркового курсу для учнів тощо [7].

З огляду на запровадження в українській освіті нового Державного стандарту профільної середньої освіти (постанова Кабінету Міністрів України від 25 липня 2024 р. № 851), виникають питання щодо вивчення учнями розділу квантової фізики, знання якої дає розуміння навколишнього світу, демонструє вплив науки на технічний прогрес, розвиває критичне мислення учнів, готує до майбутнього, оскільки є основою для багатьох професій, формує науковий світогляд.

Матеріали та методи. Досліджуючи окреслену проблему, використано низку методів, головними з яких є: аналіз науково-методичної літератури, навчальних програм, підручників і посібників, узагальнення з метою визначення понятійного апарату дослідження та формулювання висновків дослідження.

Результати. Державний стандарт профільної середньої освіти [4] визначає ключові компетентності, які повинні бути сформовані у випускника закладу загальної середньої освіти. Відповідно до визначених компетентностей природничої освітньої галузі, куди входить і фізика як навчальний предмет, стандарт визначає такі вміння та ставлення: «науково пояснювати природні явища й технологічні процеси, використовуючи наукову термінологію; виявляти дослідницькі проблеми; використовувати наукові знання, здобутки техніки й технології для розв'язання проблем; реагувати на виклики, зумовлені людською діяльністю, і діяти для забезпечення сталого розвитку; емоційно-ціннісно сприймати природу та її пізнання для успішного життя в соціоприродному середовищі» [4]. Визначені компетентності напряду пов'язані з вивченням в курсі фізики старшої школи питань сучасної фізики, які переважно зосереджені в розділі квантової фізики.

Варто відзначити, що жодне інше поняття в шкільному курсі фізики не вимагає такої глибокої трансформації уявлень під час вивчення, як світло. Спочатку, розглядаючи світлові явища, учні знайомляться з геометричною моделлю світла, що базується на його прямолінійному поширенні в однорідному середовищі. На цьому етапі світло сприймається як промінь або світловий пучок, що дає змогу вивчати закони відбивання й заломлення, проходження світла крізь лінзи та будову оптичних приладів.

Згодом ця модель поступово розширюється до хвильової, де геометричні уявлення залишаються її частиною. Надалі відбувається ще один перехід – до квантової моделі випромінювання. У результаті в учнів може виникнути враження, що є не єдина наука «оптика», яка вивчає випромінювання, а кілька окремих оптик (геометрична, хвильова, квантова), які досліджують різні об'єкти: промені, світлові хвилі та фотони.

Щоб уникнути цього, необхідно організувати освітній процес так, щоб учні усвідомлювали необхідність розвитку уявлень про природу випромінювання, розуміли обмеженість кожної фізичної моделі та могли визначати межі їх адекватності в різних ситуаціях. Це особливо важ-

ливо під час вивчення квантової оптики, головним завданням якої є формування цілісного уявлення про світлове випромінювання як єдність його хвильових і корпускулярних властивостей.

Вивчення квантової оптики є складним методичним завданням. Незвичність її основних ідей і понять, специфічність законів мікросвіту та низька наочність створюють труднощі в процесі навчання. Тому важливо постійно шукати шляхи їх подолання, удосконалюючи методику викладання цього розділу [6].

Квантова оптика посідає особливе місце в шкільному курсі фізики, оскільки саме з неї починається ознайомлення з квантовою теорією – якісно новим етапом у пізнанні законів природи. Учні вперше стикаються з явищами, які можна пояснити лише через корпускулярно-хвильовий дуалізм, дискретність станів частинок та ймовірнісний характер фізичних законів.

Аналіз навчального матеріалу з квантової оптики показує, що його можна подати відповідно до ґносеологічного циклу пізнання. Це дає змогу на прикладі розвитку квантових уявлень продемонструвати процес виникнення нових наукових фактів, накопичення експериментальних даних, формулювання гіпотез, їх логічного обґрунтування та подальшої експериментальної перевірки.

Із цього погляду сучасна фізика є інтегрованим змістом, що передбачає розвиток формального мислення в таких напрямках: роль міркувань в інтерпретації явищ, що відбуваються в умі; об'єкти вивчення – моделі як інструменти, що пов'язують міркування з науковими фактами, роль ІКТ, віртуальних об'єктів, комп'ютерного моделювання у вивченні питань сучасної фізики; побудова теоретичного способу мислення. Тож зміст розділу дає змогу підняти мислення учнів на новий вищий рівень.

В освітньому процесі, особливо в старших класах, досить важливим моментом в опануванні знань є врахування такої психологічної особливості розумової діяльності, як здатність людини мислити не лише поняттями, а й символами та образами. За таких умов освітній процес для старшокласників доцільно організовувати так, щоб оптимально поєднувати різні види наочності (зокрема, з використанням засобів ІКТ) з поняттями й математичними моделями (формулами). Уміння мислити образами є особливо значущим з огляду на ознайомлення учнів з об'єктами мікросвіту, які неможливо реально продемонструвати.

Під час розкриття властивостей мікросвіту та основних його закономірностей у ЗЗСО неможливо повністю повторити історію розвитку фізичної науки, тому процес формування знань з основ квантової фізики доцільно організовувати як цілеспрямовану освітню діяльність, що зорієнтована на розвиток теоретичного мислення. Оскільки об'єкти та явища мікросвіту зазвичай недоступні безпосередньому спостереженню, то, щоб досягти відповідності наочного образу дійсності, пізнавальну діяльність учнів варто постійно розвивати й регулювати, а функцію такого регулятора в освітньому процесі з фізики може виконувати мисленнєвий експеримент.

Мисленнєвий експеримент не можна розглядати як форму практичної діяльності людини. Власне експериментом його називають лише умовно, оскільки спосіб розмірковування в ньому аналогічний порядку операцій у реальному експерименті. Класичним прикладом є мисленнєвий експеримент Ейнштейна з ліфтом, що вільно падає. Результатом було формування принципу еквівалентності гравітаційної та інертної маси, покладеного в основу загальної теорії відносності.

Термін «мисленнєвий експеримент» (Gedankenexperiment) запровадив у фізику австрійський фізик і філософ Ернст Мах. У своїй книзі «Механіка» Мах стверджував, що кожен з нас володіє великим запасом набутих з досвіду «інстинктивних» знань. Ці знання можуть бути недостатньо чітко сформульовані, але у відповідній ситуації вони знайдуть своє використання на практиці. Кожна людина в своїй уяві може створювати ту або іншу ситуацію, виконувати певні розумові дії та одержувати результат, який, як і результат матеріального експерименту, відповідатиме об'єктивній реальності [7].

Мисленнєві експерименти застосовували у фізиці в різні часи Арістотель, Архімед, Галілей, Ейнштейн, Мах, Карно, Максвелл, Больцман, Гейзенберг та ін. Описи експериментів видатних фізиків показують, що до основних їх рис можна зарахувати такі:

1. Мисленнєвий експеримент – це метод дослідження різного роду явищ за допомогою уяви. У всіх випадках, коли необхідне пізнання найглибших сутностей і зв'язків за високого ступеня абстракції від реальних умов, дослідник звертається саме до мисленнєвого експерименту.

2. Експеримент проводиться у сфері свідомості, де провідна роль належить мисленню, а операції підкоряються деяким правилам, що впливають із знання об'єктивних законів і правил логіки.

3. Мисленнєвий експеримент дає змогу досліджувати ситуації – майже нездійсненні, хоча іноді принципово можливі.

4. У мисленнєвому й реальному експериментах технології схожі.

Окрім фізичних мисленнєвих експериментів, науці широко відомі такі: філософські апорії Зенона (Ахіллес і черепаха, дихотомія, стадіон, стріла Зенона); кібернетичні мисленнєві експерименти (задача двох генералів, китайська кімната, імітація реальності, мозок у колбі); деякі інші (теорема про нескінченних мавп, парадокс Ньюкома, парадокс ув'язнених, кімната Марії).

Весь ланцюг міркувань під час мисленнєвого експерименту здійснюється на основі наочних образів. Мисленнєве експериментування пов'язано з процесом ідеалізації і за своєю логічною структурою є гіпотетико-дедуктивною побудовою. Воно здійснюється на основі виробленої програми, плану-схеми з переробки початкової інформації та виходить з досвіду й будується на основі реальних законів досліджуваних явищ і, як правило, не виходить за межі емпіричних передумов.

Тож мисленнєвий експеримент – це специфічний метод пізнання, у якому дослідник аналогічно з матеріальним експериментом оперує з ідеальними об'єктами й експериментальними умовами з метою виявлення істотних зв'язків і відносин матеріальних об'єктів, що вивчаються.

Логічна структура мисленнєвого експерименту містить процеси абстрагування, ідеалізації, аналогії, узагальнення.

Безперечно, значно глибше й повніше відображатимуть реальні природні об'єкти та процеси ті абстракції та узагальнення, які одержані в процесі виконання фундаментальних фізичних дослідів. У цьому разі отримані абстракції є опорними й слугують реальними засобами в пізнанні природи, охоплюючи явища й процеси мікросвіту.

Під час вивчення квантової фізики використовують значну кількість дослідів, що проводять учні лише на основі мисленнєвої діяльності (в уяві). Найчастіше такі досліді вчителі запроваджують під час викладання нового матеріалу. Серед них – дослід Резерфорда, модель абсолютно чорного тіла, дослід з фотоефекту, ефект Холла, радіоактивність тощо. Наразі багато з них можна відтворити за допомогою комп'ютерних симуляцій, віртуальних моделей чи доповненої реальності. На наш погляд, поєднання віртуальних симуляцій та мисленнєвого експерименту дасть найкращий ефект у розвитку мислення учнів старшої школи.

Прикладом такого мисленнєвого експерименту може бути дослідження теплового випромінювання, що притаманне всім тілам. Такий вид випромінювання досить поширений у повсякденному житті, бо майже всі тіла є джерелами тепла. Однак у шкільному курсі фізики поняття «випромінювання» здебільшого пов'язується з такими двома видами електромагнітного випромінювання, як видиме (світлове) та радіовипромінювання, а тепловому приділяється мало уваги. Зокрема, на рівні базової школи під час вивчення розділу «Теплові явища», з'ясовуючи сутність різних видів теплопередачі (теплопровідність, конвекцію і випромінювання), не вдається пояснити на належному рівні механізм теплообміну випромінюванням. Цей вид теплопередачі розглядається лише як дослідний факт. Під час вивчення курсу фізики в старших класах природа теплового випромінювання також не з'ясовується.

Теплове випромінювання відбувається завдяки енергії теплового руху молекул. Учням найкраще це з'ясувати за допомогою мисленнєвого експерименту, у процесі реалізації якого вдається частково компенсувати розуміння наявності втрат енергії на нагрівання тіла, тобто задачу цьому тілу тепла, звідки й походить сама назва – теплове випромінювання. Зазначимо, що таке випромінювання називається саме тепловим не тому, що з ним пов'язана передача тепла навколишнім тілам (хоч і будь-яке електромагнітне випромінювання в принципі несе якусь енергію, яка, врешті, перетворюється в тепло), а тому, що його збудження відбувається завдяки енергії теплового руху.

Тож у процесі формування уявлень квантової фізики мисленнєвий експеримент виконує різні дидактичні функції:

- є засобом упровадження в освітній процес методологічних знань;
- суттєво розширює уявлення учнів про роль і значущість фундаментальних фізичних дослідів;
- уможливорює узгоджувати фундаментальні експерименти з різними етапами теоретичного методу пізнання;
- дає змогу пропонувати школярам різні варіанти аналізу об'єктів, що вивчаються;
- сприяє трактуванню одержаних результатів відповідно до специфічних функцій у навчальному пізнанні й використовувати ці результати для реалізації проблемного та частково-пошукового методів у навчанні;
- дає змогу формулювати й висувати гіпотези та обґрунтовувати висновки, що впливають із досліджень [2].

З метою одержання повноцінних і дієвих знань, висновки, що впливають із мисленнєвих експериментів, доречно підкріплювати наочністю, яка будується на використанні результатів реальних фізичних дослідів та комп'ютерних (віртуальних) експериментів разом з іншими дидактичними засобами, що при цьому використовувалися.

Розуміння квантової фізики сучасною людиною важливе з багатьох причин, адже вона відкриває фундаментальні закони природи на найглибшому рівні. Багато технологій, на яких тримається сучасний світ, як-от напівпровідники, лазери, квантові комп'ютери та медична візуалізація (наприклад, МРТ), виникли завдяки квантовій фізиці; квантові комп'ютери, які базуються на принципах квантової фізики, обіцяють у майбутньому здійснити прорив у шифруванні, моделюванні складних молекул, оптимізації систем тощо. Квантова фізика допомагає пояснити природу світла, матерії, енергії та інших феноменів, які не можуть бути зрозумілі через класичну фізику. Її ідеї змушують нас переосмислити реальність. Знання в цій сфері відкривають шлях до наступного етапу інновацій. Тому розділ квантової фізики є таким, що має динамічний зміст, увесь час наповнюється новим матеріалом і вимагає відповідних методик його викладання.

Висновки. Ураховуючи сучасні тенденції та основні напрями вдосконалення освітнього процесу, можемо стверджувати, що використання мисленнєвого експерименту для ефективного ознайомлення учнів з основами квантової фізики повинно бути спрямовано не тільки на якісне, науково й методично обґрунтоване викладання змісту її основ, а насамперед на активізацію освітньої діяльності самих учнів, включно з різними формами експериментальної роботи. Теоретичний складник розділу має відповідати сучасним тенденціям розвитку науки та технологій, бути цікавою для учнів, посиленою для її опанування як за змістом, так й у зв'язку з розглянутими методами, прийомами й засобами пізнання основ квантової теорії. Тому підхід, що ґрунтується на розвитку формального мислення учнів через використання мисленнєвого експерименту, повинен розвивати й стимулювати інтерес до пізнання та розуміння квантових уявлень, формувати вміння застосовувати ці знання для пояснення явищ і процесів мікросвіту й навколишнього світу загалом, формувати природничо-науковий світогляд і компетентності дослідницького характеру.

Література:

1. Величко С. П., Шульга С. В. Оцінка ефективності і системи розвитку пізнавальної діяльності студентів з квантової фізики комп'ютерно орієнтованими засобами навчання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 179. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2019. С. 32–38.
2. Величко С.П., Костенко Л.Д., Сірик Е.П. Концептуальні засади вивчення квантових основ фізики у ЗЗСО та ЗВО : монографія. Кропивницький : Ексклюзив-Систем, 2023. 228 с.
3. Головки М. В. Тенденції модернізації змісту шкільної фізичної та астрономічної освіти. *Педагогічна освіта: теорія і практика*. Кам'янець-Подільський : КПНУ, 2015. Вип. 18. С. 237–242.
4. Державний стандарт профільної середньої освіти. Постанова КМ України № 851, 25.07.2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-derzhavnoho-standartu-profilnoi-serednoi-osvity-851-250724>
5. Мисліцька Н. А., Заболотний В. Ф., Слободянюк І. Ю. Електронний навчально-методичний комплекс з фізики для учнів класів суспільно-гуманітарного напрямку. *Інформаційні технології та засоби навчання*. 2019. Вип. 74 (6). С. 42–55. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v74i6.3164>
6. Сальник І. В. Інтеграція реального та віртуального фізичного експерименту в старшій школі : дис. ... докт. пед. наук : спец. 13.00.02 «Теорія та методика навчання (фізика)». Кіровоград, 2016. 498 с.
7. Mach Ernst. Die Mechanik in ihrer Entwicklung Untertitel: historisch-kritisch dargestellt. Brockhaus. Leipzig. 1883. URL: <http://jhir.library.jhu.edu/handle/1774.2/34050>
8. Nobre E.F. et al. Teaching Modern Physics for Future Physics Teachers. In: Sidharth, B., Michelini, M., Santi, L. (eds). *Frontiers of Fundamental Physics and Physics Education Research*. Springer Proceedings in Physics, vol 145. 2014 Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00297-2_44
9. Michelini Marisa, Santi Lorenzo, Stefanel Alberto. (2016). Teaching modern physics in secondary school. *Proceedings of Frontiers of Fundamental Physics 14 – PoS(FFP14)*. URL: https://www.academia.edu/92609461/Teaching_modern_physics_in_secondary_school
10. Romualdo S. Silva Jr. Modern Physics for High School Students. *Global Journal of Science Frontier Research: Interdisciplinary*. 2015. Volume 15 Issue 1. URL: https://globaljournals.org/GJSFR_Volume15/2-Modern-Physics-for-high-School.pdf

References:

1. Velychko, S.P., & Shulga, S.V. (2019). Otsinka efektyvnosti i systemy rozvytku piznavalnoi diialnosti studentiv z kvantovoi fizyky komp'uterno oriietovany my zasobamy navchannia [Assessment of effectiveness and development systems of cognitive activity of students in quantum physics with computer-oriented teaching tools]. *Naukovi zapysky, Series: Pedagogical Sciences*, 179, 32–38 [in Ukrainian].
2. Velychko, S.P., Kostenko, L.D., & Siryk, E.P. (2023). Kontseptualni zasady vyvchennia kvantovykh osnov fizyky u ZZSO ta ZVO [Conceptual principles of studying quantum fundamentals of physics in secondary and higher educational institutions]. Kropyvnytskyi: Ekskliuziv-System. 228 p. [in Ukrainian].
3. Golovko, M. V. (2015). Tendentsii modernizatsii zmistu shkilnoi fizychnoi ta astronomichnoi osvity. [Trends in the modernization of the content of school physical and astronomical education]. *Pedahohichna osvita: teoriia i praktyka*, 18, 237–242 [in Ukrainian].
4. Derzhavnyi standart profilnoi serednoi osvity. [State standard of profile secondary education]. Postanova KM Ukrainy № 851, 25.07.2024. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-derzhavnoho-standartu-profilnoi-serednoi-osvity-851-250724> [in Ukrainian].
5. Myslitska, N. A., Zabolotnyi, V. F., & Slobodianiuk, I. Yu. (2019). Elektronnyi navechalno-metodychnyi kompleks z fizyky dlia uchniv klasiv suspilno-humanitarnoho napriamu [Electronic educational and methodological complex in physics for students of social and humanitarian classes], *Informatsiini tekhnolohii ta zasoby navchannia*, 74 (6), 42–55 [in Ukrainian].
6. Salnyk, I.V. (2016). Intehratsiia realnoho ta virtualnoho fizychnoho eksperymentu v starshei shkoli [Integration of real and virtual physical experiment in high school]. *Doctor's thesis*. Kirovohrad. 498 p. [in Ukrainian].
7. Mach Ernst. Die Mechanik in ihrer Entwicklung Untertitel: historisch-kritisch dargestellt [Mechanics in its development Subtitle: historically and critically presented]. Brockhaus. Leipzig. 1883. Retrieved from: <http://jhir.library.jhu.edu/handle/1774.2/34050> [in German].
8. Nobre, E.F. et al. (2014). Teaching Modern Physics for Future Physics Teachers. In: Sidharth, B., Michelini, M., Santi, L. (eds) *Frontiers of Fundamental Physics and Physics Education Research*. Springer Proceedings in Physics, vol 145. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00297-2_44 [in English].
9. Michelini, Marisa & Santi, Lorenzo & Stefanel, Alberto. (2016). Teaching modern physics in secondary school. *Proceedings of Frontiers of Fundamental Physics 14 – PoS (FFP14)*. Retrieved from: https://www.academia.edu/92609461/Teaching_modern_physics_in_secondary_school [in English].
10. Romualdo, S., & Silva, Jr. (2015) Modern Physics for High School Students. *Global Journal of Science Frontier Research: Interdisciplinary*. Volume 15 Issue 1. Retrieved from: https://globaljournals.org/GJSFR_Volume15/2-Modern-Physics-for-high-School.pdf [in English].